Macro-commande IMPR_DIAG_CAMPBELL

1 But

Calculer et tracer le diagramme de Campbell, la démarche est basée sur celle déjà développée dans ROTORINSA. Le diagramme de Campbell est une représentation graphique des fréquences naturelles d'un système en rotation en fonction de sa vitesse de rotation. Les fréquences naturelles et les modes d'un système tournant sont obtenues par la résolution de l'équation d'équilibre dynamique d'un système d'arbres tournants, sans second membre et incluant les effets dus à l'amortissement.

$$M\ddot{\delta}+C(\Omega)\dot{\delta}+K\delta=0$$

Où M est la matrice de masse du système, $C(\Omega)$ est une matrice non symétrique, fonction de la vitesse de rotation Ω , incluant l'effet gyroscopique (antisymétrique), et les caractéristiques d'amortissement des paliers, et K est la matrice de raideur du système.

Les données nécessaires pour le tracé du Diagramme de Campbell sont donc les fréquences naturelles, ainsi que leurs modes correspondants, en fonction de la vitesse de rotation.

Cette macro-commande classe les modes de flexion, de torsion et de traction compression. Elle norme les modes, détermine le sens de précession des modes en flexion, tri les fréquences suivant différentes méthodes de suivi de modes, puis trace le diagramme de Campbell.

Cette macro-commande permet de tracer le diagramme de Campbell, les fréquences f en Hz de chaque mode en fonction de la vitesse de rotation de l'arbre N en tr/mn , le sens de la précession directe (Forward Whirl) ou précession inverse (Backward Whirl). Il indique aussi s'il y a une instabilité. On peut tracer des droites de pente S, $f=S\times N/60$ et déterminer les points d'intersection de ces droites avec le diagramme de Campbell. Parmi ces points d'intersection certains correspondent à des vitesses critiques.

Table des Matières

2 Syntaxe

```
IMPR_DIAG_CAMPBELL (

# Maillage du système tournant
                    ♦ MAILLAGE = ma                          [maillage]


# Liste de modes correspondant à la liste de vitesses
                    ♦ MODES =    l_mode                      [l_mode_meca_c]


# Liste des vitesses de rotation
                    ♦ VITE_ROTA =   l_vit  [l_R]

# Nombre de fréquences dans le diagramme de Campbell
                    ♦ NFREQ_CAMP =  nb_freq_camp             [I]

# Choix du type de calcul de la précession
                     ◊ TYP_PREC =/1      #PREC_MOY   [I]    [DEFAUT]
                                  /2      #PREC_GOR

# Choix de la méthode de suivi des modes
                     ◊ TYP_TRI = /0     #PAS_TRI  [I]
                                 /1     #TRI_PREC_MOD
                                 /2     #TRI_FORM_MOD        [DEFAUT]

# Définition de l'unité logique au format XMGRACE , pour le diagramme de
#Campbell en flexion
                    ♦ UNIT_FLE =  unit_fle                   [I]


# Définition de l'unité logique au format XMGRACE , pour le diagramme de
#Campbell en torsion
                    ♦ UNIT_TOR =  unit_tor                   [I]


# Définition de l'unité logique au format XMGRACE , pour le diagramme de
#Campbell en traction / compression
                    ♦ UNIT_LON =  unit_lon                   [I]


# Définition de l'unité logique au format XMGRACE , pour le diagramme de
#Campbell en flexion
                    ♦ UNIT_TOT =  unit_tot                   [I]


# Définition de l'unité logique au format fichier texte, pour les points
#d'intersection
                    ♦ UNIT_INT =  unit_int                   [I]


# Liste de pentes S des droites à tracer
                    ◊ L_S =   /l_s,                          [l_R]
                              /1.                            [DEFAUT]
```

3 Opérandes

3.1 Opérande MAILLAGE

♦ MAILLAGE = ma,

Nom du maillage du système tournant que l'on veut extraire les nœuds. Ces nœuds sont utilisés dans Classification des modes en flexion, en torsion et en traction/compression et le calcul le sens de précession pour un mode à une vitesse de rotation donnée.

3.2 Opérande MODES

♦ MODES = l_mode

Une liste contenant les concepts mode_meca_c définis pour chaque vitesse de rotation.
La macro MODE_EN_ROTATION calcule les fréquences et les modes du système en fonction des vitesses de rotation. La recherche des fréquences et modes sur le système complet conduit à la recherche des valeurs et vecteurs propres de :

$$M\ddot{\delta}+(A+\Omega C)\dot{\delta}+K\delta=0$$

A : matrice d'amortissement du système complet
C : matrice de Coriolis du système complet.

Remarque :
Le nombre de modes NVES calculés doit être identique pour toutes les vitesses de rotation.

Pour suivre les modes sur le diagramme de Campbell, le nombre de modes calculés NVES doit être supérieur au n ombre de fréquences NFREQ_CAMP dans le diagramme de Campbell.
Au minimum NVES= NFREQ_CAMP+4.

3.3 Opérande VITE_ROTA

♦ VITE_ROTA = l_vit

Liste des vitesses de rotation Ω qui est la même liste qui a été utilisé lors du calcul des modes du système en rotation par la macro MODE_EN_ROTATION. Pour mieux suivre les modes, cette liste présente la plage de vitesses :

Vitesse de rotation initiale : $Omega_{min}$
Vitesse de rotation finale : $Omega_{max}$
Pas de vitesse de rotation : $Delta_{omega}$

L'unité est en rad/s .

3.4 Opérande NFREQ_CAMP

♦ NFREQ_CAMP = nb_freq_camp

Nombre de fréquences dans le diagramme de Campbell, c'est le nombre de mode à suivre dans le diagramme de Campbell.

Même remarque qu'au paragraphe 3.2 :
Pour suivre les modes sur le diagramme de Campbell, le nombre de modes calculés NVES doit être supérieur au nombre de fréquences NFREQ_CAMP dans le diagramme de Campbell.
Au minimum NVES= NFREQ_CAMP+4.

Remarque

Attention le minimum fixé NVES= NFREQ_CAMP+4 n'est pas toujours suffisant. Il faut vérifier les nombres de fréquences calculées par type (flexion, torsion, traction / compression) et en fonction de ces valeurs, calculer plus de modes que ceux demandés pour le tracé du diagramme de Campbell.

3.5 Opérande TYP_PREC

```
◊ TYP_PREC =  /1      PREC_MOY
              /2      PREC_GOR
```

Choix du type de calcul de la précession.

Le calcul du sens de précession directe ou inverse pour les modes en flexion à chaque vitesse de rotation est fait de deux manières différentes suivant le choix de type de calcul de la précession :

- PREC_MOY : L'identification de la précession se fera en fonction du signe de la somme des signes de toutes les orbites.
- PREC_GOR : L'identification de la précession est en fonction du signe de la plus grande orbite dans un mode (Précession direct, Précession inverse).

3.6 Opérande TYP_TRI

```
◊ TYP_TRI =          /0      #PAS_TRI
                     /1      #TRI_PREC_MOD
                     /2      #TRI_FORM_MOD      [DEFAUT]
```

Choix de la méthode de suivi des modes.

- Si le type de suivi des modes est PAS_TRI , la connexion ce fait en suivant le numéro d'ordre des modes.
- Si le type de suivi des modes est TRI_PREC_MOD , c'est à dire tri des fréquences de proche en proche en fonction du sens de la précession.
- Si le type de suivi des modes est TRI_FORM_MOD, c'est à dire tri par la forme des modes. Le tri des fréquences en fonction de la forme des modes nécessite le calcul de la matrice de corrélation MAC des modes.

3.7 Opérandes des unités logiques

En sortie de cette macro, quatre diagrammes de Campbell sont générés :

- Diagramme de Campbell pour les modes de flexion,
- Diagramme de Campbell pour les modes de torsion,
- Diagramme de Campbell pour les modes de traction/compression,
- Diagramme de Campbell qui rassemble les trois types de modes.

3.7.1 Opérande UNIT_FLE

♦ UNIT_FLE = unit_fle

Permet de choisir sur quelle unité logique on imprime le diagramme de Campbell pour les modes en flexion. La valeur de unit_fle doit être la même que dans l'interface Astk.

3.7.2 Opérande UNIT_TOR

♦ UNIT_TOR = unit_tor

Permet de choisir sur quelle unité logique on imprime le diagramme de Campbell pour les modes de torsion. La valeur de `unit_fle` doit être la même que dans l'interface `Astk`.

3.7.3 Opérande UNIT_LON

♦ `UNIT_LON = unit_lon`

Permet de choisir sur quelle unité logique on imprime le diagramme de Campbell pour les modes en traction/compression. La valeur de `unit_fle` doit être la même que dans l'interface `Astk`.

3.8 Opérande des unités logiques

Les points d'intersection des droites de pente S avec le diagramme de Campbell sont sauvegardés dans un fichier texte.

♦ `UNIT_INT = unit_int ,`

Permet de choisir sur quelle unité logique sera sauvegardée ces points d'intersection (vitesse de rotation, fréquence) . La valeur de `unit_int` doit être la même que dans l'interface `Astk`, de type `'libr'` . Le nom du fichier est la concaténation de 'fort.' avec la valeur de `unit_int` .

3.9 Opérande L_S

Cette macro permet de tracer des droites de pente S et déterminer les points d'intersection de ces droites avec le diagramme de Campbell.

```
◊ L_S =  /l_s,
         /1.                    [DEFAUT]
```

Permet de constituer la liste de pentes S des droites à tracer.

La droite de pente $S=1$ permet d'obtenir avec ses intersections avec les courbes d'évolution des fréquences, les vitesses critiques éventuelles dues aux balourds ou à des forces tournantes synchrones à la vitesse du rotor.

Les droites de pente $S\neq 1$ permettent d'obtenir avec leurs intersections avec les courbes d'évolution des fréquences, les vitesses critiques éventuelles dues à des forces tournantes asynchrones (vitesse différente à la vitesse du rotor).

4 Résultats

4.1 Fichier résultat

Dans le fichier résultat, on affiche :

Nombre de valeurs propres détectées
Nombre de fréquences demandées pour le tracé

Nombre de fréquences totales
Nombre de fréquences en flexion
Nombre de fréquences en torsion
Nombre de fréquences en traction/compression

Les fréquences et les amortissements réduits
Les matrices MAC dans le cas de la méthode de suivi des modes `TRI_FORM_MOD`.
Les tableaux de connexion.

Sur, le graphique du diagramme de Campbell, sont tracées les fréquences naturelles d'un système en rotation en fonction de sa vitesse de rotation, avec les sens de précession. L'instabilité est indiquée.

Les droites de pentes S sont tracées. La droite de pente $1.$ est toujours tracée.
Un fichier contient les points d'intersection des droites avec le diagramme de Campbell.

4.2 Code couleur du tracé

Par les codes de couleurs des tracés, on précise le sens de précession pour les modes en flexion.

	Précession directe	Précession inverse
Stable	Vert, trait continu	Bleu, tirets longs,
Instable	Rouge, trait continu, marqueur +	Magenta, tirets longs, marqueur □

Pour les modes de torsion : couleur de trait noir, style un tiret, un pointillé.

Pour les modes de traction/compression : couleur de trait violet, style deux tirets, un pointillé.

5 Exemple

Exemple de diagramme de Campbell d'un modèle de rotor à 3 disques du livre *Rotordynamics Prediction in Engineering*.

```
DEBV=0.0;       # tr/mn
FINV=30000;     # tr/mn
PASV = 5000.    # tr/mn
VIT=arange(DEBV,FINV+1,PASV);
nbV=len(VIT);
L_VITROT=[VIT[ii]*pi/30. for ii in range(nbV)];

nbF_camp=11;

typ_prec =1
typ_tri=2

unit_fle = 29;
unit_tor = 28;
uniy_lon = 27;
unit_tot = 26;
unit_int = 25;

L_S=[1.];

DIAGRAM_CAMPBELL(MAILLAGE   =mail,
                 MODES      =MODES,
                 VITE_ROTA   =L_VITROT,
                 NFREQ_camp =nbF_camp,
                 TYP_PREC   =typ_prec,
                 TYP_TRI    =typ_tri,
                 UNIT_FLE   = unit_fle,
                 UNIT_TOR   = unit_tor,
                 UNIT_LON   = uniy_lon,
                 UNIT_TOT   = unit_tot,
                 UNIT_INT   = unit_int,
                 L_S        = L_S,
                );
```

Quelques résultats générées dans le fichier *.resu :

```
Nombre de valeurs propres détectées est 20
Nombre de fréquences demandées pour le tracé  11
```

	calculés	Tracés
Nombre de fréquences totales	20	11
Nombre de fréquences en flexion	16	8
Nombre de fréquences en torsion	2	2
Nombre de fréquences en traction/compression	2	1

Tableau 5-a : Fréquences calculées et tracées (Code_Aster)

On obtient ainsi les quatre fichiers que l'on peut visualiser dans `xmgrace` :

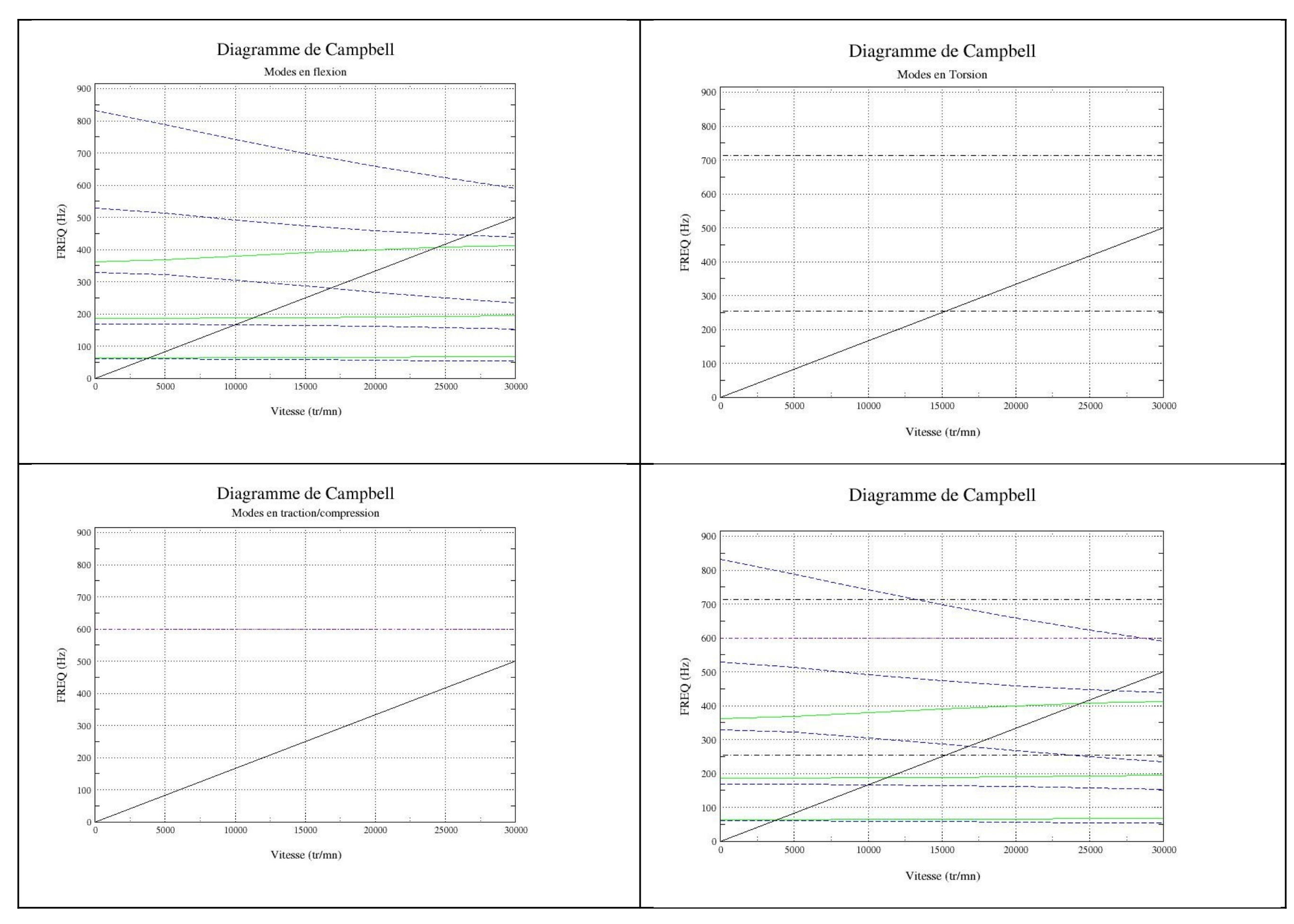


Figure 5-a : Diagrammes de Campbell en flexion, torsion et traction/compression

Le fichier fort.25 contient les points d'intersection.

```
Mode en flexion
Points d intersection avec les droites Y=SX
S =       1.00
Vitesse   =    3615.86 tr/mn
Fréquence =      60.26 HZ
Vitesse   =    3802.16 tr/mn
Fréquence =      63.37 HZ
Vitesse   =   10018.17 tr/mn
Fréquence =     166.97 HZ
Vitesse   =   11282.42 tr/mn
Fréquence =     188.04 HZ
Vitesse   =   16773.01 tr/mn
Fréquence =     279.55 HZ
Vitesse   =   24399.86 tr/mn
Fréquence =     406.66 HZ
Vitesse   =   26635.07 tr/mn
Fréquence =     443.92 HZ
----------------------------
Mode en Torsion
Points d intersection avec les droites Y=SX
S =       1.00
Vitesse   =   15240.61 tr/mn
Fréquence =     254.01 HZ
----------------------------
```

Références

- M. LALANNE, G. FERRARIS, " Rotordynamics Prediction in Engineering ", Second Edition, Wiley, 2001.
- ROTORINSA, logiciel éléments finis destiné à prévoir le comportement dynamique de rotors en flexion, LaMCoS UMR5259, INSA-Lyon.